



Brownie : カメラ上に指定された過去のランドマーク情報に基づく実世界探し物検索システム

著者	佐竹 聡, 今井 倫太, 川島 英之, 安西 祐一郎
雑誌名	知能と情報 : 日本知能情報ファジィ学会誌
巻	19
号	5
ページ	556-569
発行年	2007-10
権利	(c) 2008 日本知能情報ファジィ学会
URL	http://hdl.handle.net/2241/106112

doi: 10.3156/jssoft.19.556

原著論文

Brownie：カメラ上に指定された過去のランドマーク情報に基づく実世界探し物検索システム†

佐竹 聡*1・今井 倫太*2・川島 英之*3・安西 祐一郎*2

本研究では、位置センサを取り付けたオブジェクトを実世界で検索するシステムBrownieを開発する。本論文の目的は、探し物が過去置かれていた場所をカメラ画像内にマークすることで検索を行うランドマーク指定検索の実現である。ランドマーク指定検索には、ランドマークの消失とランドマークの入れ替えという2つの課題が存在する。ランドマークの消失は、ユーザが記憶したランドマークオブジェクトがカメラ画像内に存在しない状況でランドマーク指定検索に対応する課題である。ランドマークの入れ替えは、ランドマークオブジェクトをユーザが取り違えた状況でランドマーク指定検索に対応する課題である。両課題を解決するため、本論文ではAtumeyeフレームを提案する。Atumeyeフレームは、人間がランドマークを記憶するときに周辺に存在する別のランドマークとの相対関係も記憶するという考えに基づく。Atumeyeフレームではオブジェクトと周辺に存在するランドマークオブジェクトが随時記録される。Atumeyeフレームは、位置センサから得られたオブジェクトの位置をカメラ画像に投影し、ランドマークオブジェクト同士の重なりを検出することで周辺に存在するランドマークオブジェクトを決定する。ユーザの指定するランドマークオブジェクトを確定できないランドマーク消失時において、マークされた領域から検索目標の周辺状況を推定することでAtumeyeフレームはランドマークの消失に対応する。マークされた領域からランドマークオブジェクトを確定できた場合、検索目標の周辺状況を推定した検索も同時に発行することでランドマークの入れ替えに備える。評価実験の結果Atumeyeフレームは平均して76.7%の検索成功率を示した。

キーワード：実世界検索システム、ランドマーク指定検索、ユビキタスシステム、Brownie

1. はじめに

本稿は日常生活での物探しをサポートするシステムBrownie¹を提案する。近年、オブジェクトにタグを装着し鍵や本、財布といった探し物の場所を検索する研究が行われている[1, 2]。[1, 2]では探し物をコンピュータ上で検索するためにオブジェクトの名前や製造元といったキーワードが使用される。しかしタグを装着するオブジェクト数が増えるほど、検索するオブジェクトを的確に表現するキーワードが多く要求される。加えてタイトル不明な絵画や片付けた場所しか覚

えていない道具といった共有物では、的確なキーワードの決定が難しい。一方人間が物探しを行う際、「机のここに置いた」といった過去のランドマーク情報が多々用いられる。つまり物探しシステムに過去のランドマーク情報を与える事で、オブジェクト検索のサポートが期待できる。過去のランドマーク指定を素早く行うため、Brownieでは室内に設置されたカメラの画像を利用する。Brownieの目的は、カメラ画像内に指定された過去のランドマークを用いた物探しのサポートである。

Brownieは2種類のセンサを使用する。1種類目は、個々のオブジェクトに装着され、装着されたオブジェクトに関するセンシングを行なうオブジェクト型センサである。Brownieは、オブジェクト型センサとして位置を取得する超音波3次元タグ[3]を用いる。オブジェクト型センサは書類や本といった検索対象となるオブジェクトや、机や椅子といったランドマークとなりうるオブジェクトに装着され、センサを装着し

† Brownie: Real World Search System Based on the Past Landmark Information from Camera Image
Satoru SATAKE, Michita IMAI, Hideyuki KAWASHIMA and Yuichiro ANZAI

*1 慶應義塾大学 理工学研究科 開放環境科学専攻
School of Science for Open and Environmental Systems Graduate School of Science and Technology, Keio University

*2 慶應義塾大学 理工学部 情報工学科
Department of Information and Computer Science, Faculty of Science and Technology, Keio University

*3 筑波大学院 システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻
Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

1 Brownieは人家に住み着き仕事を手伝う妖精が由来であり、物探しをサポートするシステムが長く家に住み着いた妖精のように物の場所を把握し探し物を手伝ってくれることを期待し命名した。

たオブジェクトをセンサ装着オブジェクトと呼ぶ。2種類目のセンサが環境に設置されセンシングを行なう環境型センサであり、部屋に設置されたカメラが環境型センサにあたる。カメラは人間にとってわかりやすい反面、複数のセンサ装着オブジェクトを同一画像内に撮影する。したがってカメラ画像内にあるランドマークを指定した検索に対応するためには、カメラとセンサ装着オブジェクトの対応関係を管理する機構が必要である。

カメラとオブジェクト型センサの対応関係を管理する研究として[4-7]が挙げられる。[4-7]では、物体に取り付けられたタグの特性を利用して、現在カメラ内のどこにオブジェクト型センサが存在するかを検出する。[4, 5]はRFIDタグを、[6]はIREDデバイスを持つスマートタグを、[7]は超音波3次元タグを使用する。一方で管理すべきカメラやオブジェクト型センサの数が増えた場合、対応関係の管理を効率的に行う必要が出てくる。特に超音波3次元タグから求められる位置はワールド座標系であるため、どのセンサ装着オブジェクトがどのカメラ画像内に存在するかを効率的に求める必要がある。カメラ画像内に存在するセンサ装着オブジェクトの効率的な決定を助ける手法として空間インデックス[8-13]が挙げられる。[8, 9]では3次元空間を木構造に分割して管理するため、カメラ画像内に存在するセンサ装着オブジェクトを効率的に決定できる。[10, 11]は、移動オブジェクト用に[9]を拡張した手法である。一方[12, 13]は、時間を新しい次元として加え、過去の軌跡に対して[8]を拡張した手法である。

しかしランドマークを指定した検索を実現するためには、ランドマークオブジェクトの消失と、ランドマークオブジェクトの入れ替えという2つの課題が残されている。ランドマークを指定した検索を発行する際、ユーザの記憶にあるランドマークオブジェクトがカメラ画像に存在しない状態を**ランドマークの消失**と呼ぶ。ランドマークの消失が発生した場合、ユーザは自身の不完全な記憶に従ってオブジェクトの存在した位置をマークする。ランドマークの消失に対処するためには、ユーザの不完全な記憶から生じたマーク位置のずれを吸収し、過去の移動履歴からランドマークオブジェクトを決定する必要がある。しかし表1中機能2および機能3に示す通り、[4-13]では対応できない。一方でランドマークを指定した検索を発行する際、ユーザがランドマークオブジェクトを別のランドマークオブジェクトと取り違えた状態を**ランドマークの入れ替え**と呼ぶ。ランドマークの入れ換えに対処するためには、正しいランドマークオブジェクトを移動

表1 ランドマーク指定検索の要求機能に対する各研究の対応状況

機能1: カメラ画像内にあるオブジェクト管理
機能2: 過去の移動履歴の管理
機能3: 消失で発生する位置のずれ吸収
機能4: 取り違い対象の発見

	機能1	機能2	機能3	機能4
研究 [4-11]	○	×	×	×
研究 [12, 13]	○	○	×	×
提案方法	○	○	○	○

履歴から発見しなければならない。しかしランドマークの位置に対するユーザの記憶は不完全であり、ランドマーク位置のずれに気づかない場合がある。したがって取り違えてしまったランドマークオブジェクトの発見には記憶の不完全さに伴う位置のずれを吸収する必要がある。表1中機能2および機能4に示す通り[4-13]では対応できない。

Brownieは、Atumeye²フレームを導入することでランドマークの消失と入れ替えに対処する。人間がランドマークを記憶するとき、ランドマーク自体だけでなく周辺に存在する別のランドマークとの相対関係も記憶するという考えにAtumeyeフレームは基づく。Brownieでは各カメラごとにランドマークオブジェクトの周辺を調べ、ランドマークと重なった位置に存在し、移動する可能性の低い別のランドマークオブジェクトの名前をAtumeyeフレームに記録する。周辺情報としてランドマークオブジェクトの名前を用いることで、大きさや場所のずれに頑強な構造がつけられる。

検索目標のオブジェクトが持つAtumeyeフレームを推定することで、Brownieはランドマークの消失と入れ替えに対処する。ランドマーク消失時にマークされる領域内周辺の相対関係は、ユーザに記憶された相対関係に近いと考えられる。したがってマークされた領域から生成されたAtumeyeフレームをキーとして検索することで、検索目標のオブジェクトの発見が期待できる。さらにAtumeyeフレームにはランドマークの名前のみが記録されるため、マークされた領域の位置や大きさのずれに頑強な検索が実現できる。一方ランドマークの入れ替えは、ランドマークオブジェクト周辺の相対関係がユーザの記憶と類似したことで発生すると考えられる。したがってユーザに指定されたオブ

2 Atumeyeとはエジプト神話のAtum神の目(eye)が由来である。Atum神の目が行方不明となった息子と娘を探して連れ帰るという話があり、探知物を発見し提示することを期待し命名した。

ジェットのAtumeyeフレームを検索キーとすることで、入れ替え前のランドマークオブジェクトの発見が期待できる。

本論文の構成を説明する。まず2.章で過去のランドマークを指定した検索の課題をまとめる。3.章でAtumeyeフレームについてのべた後、4.章で評価実験を説明する。5.章で考察をのべた後、最後に6.章で本論文をまとめる。

2. ランドマーク指定検索による物探し

本節では物探しシステムBrownieについて説明し、ランドマーク指定検索で発生する課題をまとめる。

2.1 物探しシステム：Brownie

Brownieは日常生活での使用を目標とした物探しシステムである。「以前机の上に置いた論文」や「本日中に提出しなければいけない書類」、「修理に使いたい道具」といった探し物がある時にユーザはBrownieを使用する。図1にBrownieによる物探しの流れを示す。

Brownieはセンサネットワークを通じて超音波3次元タグを装着したセンサ装着オブジェクトの位置やカメラ画像を取得する。取得されたオブジェクトの3次元位置座標と取得時刻はBrownie内に記録される。Brownieは、取得したオブジェクトの3次元位置座標からon(book1,desk1)といった論理表現をテキスト情報として生成し、生成した論理表現と成立時刻を記録する。位置データから論理表現への変換を行うため、全センサ装着オブジェクトの最新の位置データをBrownieは管理する。新しい位置データが届くたびに全センサ装着オブジェクトの位置データを読み込み、論理表現が成立するオブジェクトのペアを更新する。したがってユーザがセンサ装着オブジェクトを移動させた場合、いつ、どこへ移動させ、どんな論理関係が新たに成立したかという情報が記録される。またセンサ装着オブジェクトの名前や所有者、オブジェクトの

画像といった情報がメタデータとしてBrownie内部に保持されている。

物探しを行うユーザは端末からクエリを発行する。端末にはコンソール入力画面と、センサネットワークから取得されたビデオ画像が提示されており、ユーザがテキストを入力し、必要であればビデオ画像上をマークすることでクエリが生成され、Brownieに送信される。クエリを受け取ったBrownieは、登録されているメタデータやセンサ装着オブジェクトの移動履歴からクエリの条件にあうセンサ装着オブジェクトのリストを生成する。ユーザに提示する結果は、リスト中に含まれるセンサ装着オブジェクトにオブジェクトの画像や現在成立している論理関係といった情報を付加することで生成される。またセンサ装着オブジェクトの名前を引数とした表示命令をユーザがコンソール画面に入力することで、指定されたセンサ装着オブジェクトがカメラ画像のどこにあるかを提示できる。

Brownieは2種類の検索方法をユーザに提供する。1つ目の検索方法はキーワード検索であり、探すオブジェクトの名前や所有者といった情報をキーワードとして入力する。また論理表現はテキスト形式であるため、ランドマークオブジェクト名をキーワードとして過去に成立した論理表現を検索できる。キーワード検索ではセンサ装着型オブジェクトのメタデータから条件に合うセンサ装着型オブジェクトを検索し、場所を提示する。

2つ目の検索方法が過去のランドマークを指定したランドマーク指定検索である。ランドマーク指定検索では、カメラ上に検索したいオブジェクトが存在した場所をマークする。Brownieはユーザの生活空間に設置されているため、ユーザは日常生活の記憶に基づいて探し物に対するランドマーク指定検索を要求する。図2に「机の上に置いた論文」をランドマーク指定検索する様子を示す。本稿ではランドマーク指定検索に注目する。

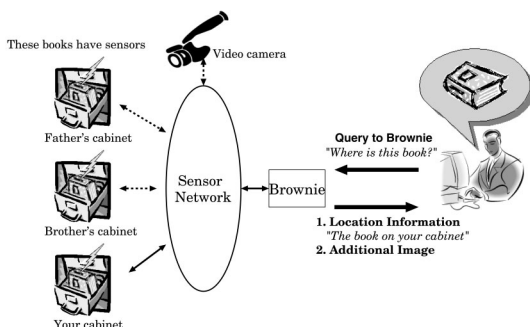


図1 Brownieによる物探し

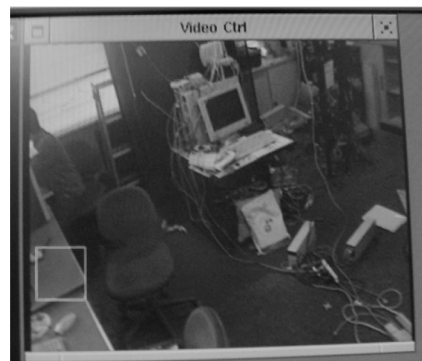


図2 ランドマーク指定検索

Brownieは2種類の方法で結果を出力する。1つ目の方法が一覧表示である。一覧表示では、検索条件を満たす全オブジェクトの名前、現在置いてある場所と、メタデータとして登録してあるオブジェクトの画像が表示される。2つ目の表示がカメラ表示である。カメラ表示では、ユーザが閲覧できるカメラ内に検索結果のオブジェクトが存在すれば、オブジェクトの場所をカメラ画像内にマークする。コンソールへ表示命令と表示したいオブジェクト名を入力することで、カメラ表示は実行される。

2.2 センサデータから生成される論理表現

オブジェクトの位置関係を示す論理表現は、超音波3次元タグの値から算出される。オブジェクトの位置関係を示す論理表現には、on関係、under関係、front関係、near関係やinside関係といった様々な関係が存在するが、本稿ではon関係に注目する。

near関係やfront関係と異なり、on関係はランドマークオブジェクトの移動に伴って関係が維持される。つまり椅子を動かすことが上にある本を動かすことになり、オブジェクト同士が強く結び付いている関係の1つといえる。一方ランドマークオブジェクトと強く結び付いている関係はユーザの記憶に残りやすく、ランドマークオブジェクトの移動による影響を受けやすい。したがってランドマークの消失や入れ換えの影響を強く受けるため、on関係に注目することで頑強なシステム構築が期待できる。

2.3 センサ装着オブジェクト

Brownieは、超音波3次元タグ[3]をオブジェクトに装着する。超音波3次元タグは部屋に設置した3点以上の受信器に超音波を送信し、受信器に超音波が到達するまでの時間からタグの位置を計算する。部屋に設置する受信器を増やす程高い精度が得られ、各受信器はワールド座標系における3次元座標値を持つ。本研究室に設置した環境では10cm程度の誤差でタグの位置を計算できる。

センサ装着オブジェクトは、超音波3次元タグを装着したオブジェクトである。本や書類、論文、道具といったユーザの検索候補となるオブジェクトと、机や椅子、デスクトップコンピュータ、棚といったランドマーク候補のオブジェクトに超音波3次元タグを装着する。ランドマーク候補のオブジェクトは複数の超音波3次元タグを装着し、机の上に本があるといった、ランドマークとオブジェクトの相対位置関係を計算できる。センサ装着オブジェクトの一例を図3に、ランドマークオブジェクトの一例を図4に掲載する。図4

のランドマークオブジェクトには4つの超音波3次元タグが装着されている。

各センサ装着オブジェクトはオブジェクト固有のデータをメタデータとして持つ。オブジェクト固有のデータは、オブジェクトの検索や相対位置関係の計算に使用される。オブジェクト固有のデータを表2に示す。オブジェクト固有のデータはBrownieで一元管理される。

ランドマーク候補のオブジェクトは、超音波3次元タグから取得された位置座標を扱う空間関数を持つ。空間関数には、与えられた位置がオブジェクト上に接することを判定するon関数、オブジェクトのバウンディングボックスを計算する B 関数、そしてワールド座標値からランドマークオブジェクトを原点とした座標値に変換する座標変換関数を持つ。ランドマークオブジェクト obj が与えられたとき、 $B(obj)$ はワールド座標系における obj のバウンディングボックスである。



図3 センサ装着オブジェクト

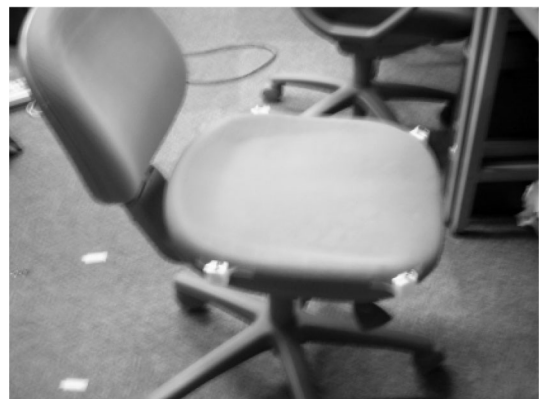


図4 ランドマークオブジェクト

表2 センサ装着オブジェクトで管理されるデータ

データ名	データに関する説明
オブジェクト ID	オブジェクト固有の ID
オブジェクト名	オブジェクト固有の名前 (ex. AAAI 2006, desk1)
クラス名	オブジェクトの一般的な名前 (ex. Proceedings, desk)
所有者名	オブジェクトの所有者名
オブジェクト画像	オブジェクトの画像データ
センサ ID	装着したセンサの ID リスト
現在位置	センサから算出したオブジェクトの現在位置

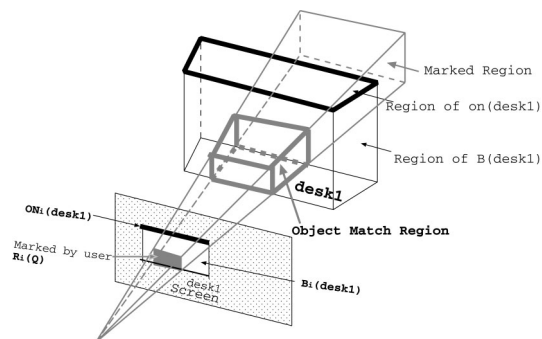


図5 ランドマーク指定検索における領域名

2.4 ランドマーク指定検索

ランドマーク指定検索を行うユーザは、検索するオブジェクトが存在した場所をカメラ画像内にマークする(図2)。もしより詳しい情報を与えたい場合は、ランドマークの種類、検索オブジェクトとの位置関係を文字列で記述した相対位置表現、そして検索対象となる期間といった情報をBrownieに渡す。例えば検索するオブジェクトが机の上に置いてあった場合、Brownieには「on(desk)」という相対位置表現が渡される。検索対象となる期間が与えられなかった場合、クエリ発行をおこなった時刻 t_{now} から、ランドマーク指定検索を有効とする最古の時刻 t_{valid} ($t_{now} > t_{valid}$)までが検索対象期間となる。 t_{valid} はBrownieで管理される。また t_{valid} より過去を遡る検索を要求した場合、エラーメッセージが出力される。

相対位置表現は、ランドマークに関する文字列と位置関係を示す文字列から構成される。例えば「on(desk)」が与えられた場合、deskはランドマークのクラス名を指し、onはランドマークとの位置関係を示す。

図5にランドマーク指定検索時の様子を示す。図5でscreenと記述された平面はカメラ画像を指す。カメラにはdesk1が撮影されており、screen上の黒い線で描かれた四角形がdesk1を示す。screen上に描かれた灰色の四角形は、ユーザによってマークされた領域である。screenの奥はワールド座標系を表現しており、黒い線で記述された直方体はワールド座標系におけるdesk1を示す。

ワールド座標における領域名称を定義する。ワールド座標系にある各ランドマークオブジェクト obj は、on空間とB空間を持ち、それぞれ $on(obj)$ と $B(obj)$ と表記される。on空間は obj 上に検索対象を置くことができる空間であり、 obj に定義されたon関数が真を返す領域である。図5中の黒い太線で記述された四角

形が $on(desk1)$ に当たる。B空間は obj 上に定義されたランドマークオブジェクトのバウンディングボックスであり、 obj のB関数によって定義される。図5上の直方体が $B(desk1)$ となる。

ワールド座標から i 番目のカメラ座標に変換する行列 MC_i が与えられたとき、カメラ座標における領域名称が定義できる。ランドマーク指定検索 Q でマークされた領域を $R_i(Q)$ と表記する。図5中の塗りつぶされた灰色の四角形が $R_i(Q)$ である。 MC_i を用いて $on(obj)$ を i 番目のカメラ上に投影した領域を $on_i(obj)$ と表記する。図5の太い黒線が $on_i(desk1)$ である。 $B(obj)$ を MC_i で i 番目のカメラ上に投影した領域を $B_i(obj)$ と表記する。図5の黒い四角形が $B_i(desk1)$ である。

i 番目のカメラ座標空間を管理するため、2つの関数を存在する。1つ目は $Overlap(R1, R2)$ であり、カメラ座標上の領域 $R1$ と $R2$ が重なりを持つか否かの真偽値を返す。図5において、 $Overlap(R_i(Q), B_i(desk1))$ は真である。2つ目は \cap 演算子であり、両端に記述された2領域の積空間を計算する。図5において、 $R_i(Q) \cap on_i(desk1) = 0$ であり、積空間は存在しない。

ランドマーク指定検索は式1として定式化される。ただし、 obj_{result_j} は検索条件を満たした j 番目のセンサ装着オブジェクト、 $R_i(Q)$ は i 番目のカメラにマークされた領域を意味する。

$$LandMarkQuery(R_i(Q)) \rightarrow \{obj_{result_1}, \dots, obj_{result_n}\} \quad (1)$$

相対位置表現や、検索オブジェクトの種類や所有者、検索対象期間といった付加情報をユーザが知っている場合、追加情報を文字列で記述した検索オブジェクト情報がBrownieに渡される。検索オブジェクト情報はランドマーク検索終了後に使用される。つまりランドマーク検索で見つかったオブジェクトのうち、検索オブジェクト情報を満足するオブジェクトのみがユーザに出力される。

2.5 ランドマーク指定検索の問題

ランドマーク指定検索を実現するためには、ランドマークの消失とランドマークの入れ替えの2つの状況に対処しなければならない。したがって本稿の課題は、式1にランドマークの消失とランドマークの入れ替えに対処する機能を加えることである。

ランドマークの消失は、ランドマーク指定検索を実行するときにユーザの記憶にあるランドマークオブジェクトが存在しない状況である。ランドマークの消失に対処するためには、ユーザの不正確な記憶でマークされた領域からランドマークオブジェクトを推定する機能が必要とされる。

ランドマークの入れ替えは、ランドマーク指定検索を実行するときにユーザがランドマークオブジェクトを取り違える状況である。ランドマークの入れ替えに対処するためには、取り違えられたランドマークから正しいランドマークを推定する機能が必要とされる。

3. Atumeye フレーム

人間がランドマークを記憶するとき、ランドマーク自体だけでなく周辺に存在する別のランドマークとの相対関係も記憶するという考えにAtumeyeフレームは基づく。Atumeyeフレームでは各カメラごとにランドマークと周辺の相対関係を記録し、ランドマークの消失と入れ替えに対処する。

i 番目のカメラに撮影された全ての obj に対して $Overlap(R_i(Q), on_i(obj))$ が偽となった場合、ランドマークの消失が発生したとBrownieは判断する。ランドマーク消失時において検索目標のAtumeyeフレームを予測した検索をBrownieは提供する。

ランドマークの消失が発生しなかった場合、ユーザはあるランドマークオブジェクトをマークしたことを示す。しかしランドマークの入れ替えを検出することは困難である。したがって検索目標のAtumeyeフレームをキーとする検索を追加で実行することで、Brownieはランドマークの入れ替えに備える。

3.1節でAtumeyeフレームを用いたセンサデータの処理方法を説明し、3.2節でAtumeyeフレームを用いたランドマーク指定検索について説明する。

3.1 Atumeyeフレーム構造

Atumeyeフレームは、ランドマーク間の相対的な位置関係を各カメラごとに算出し記録する。Atumeyeフレーム算出のため、オブジェクトの動きやすさを示す *Mobility* を新しいメタデータとしてランドマークオブジェクトに定義する。*Mobility* は低いほど移動する頻

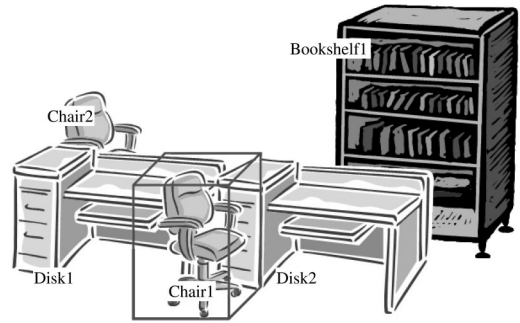


図6 Atumeye フレームの算出時のカメラ画像例

度が少ないことを示す。例えば研究室に置いてある机の *Mobility* は椅子よりも低く、本棚よりも高い。以後オブジェクト obj の *Mobility* を $Mob(obj)$ と表記する。ランドマークオブジェクト obj_j の周辺情報はなるべく変化しないランドマークを用いることが好ましい。つまり $Mob(obj_j) > Mob(obj_k)$ となる obj_k を周辺情報として持つことで、環境の変化に影響を受けにくいランドマークオブジェクトを選出できる。

i 番目のカメラで撮影される画像例を図6に示す。図6には5つのランドマークオブジェクトが撮影されている。5つのランドマークオブジェクトはそれぞれ Chair1, Chair2, Desk1, Desk2, そしてBookShelf1である。図6中のChair1を覆う直方体は $B_i(Chair1)$ である。また図6において $Mob(Chair1), Mob(Chair2) > Mob(Desk1), Mob(Desk2) > Mob(BookShelf1)$ とする。

各カメラごとのAtumeyeフレームの算出方法を説明する。 i 番目のカメラに撮影されたランドマークオブジェクト obj_j のAtumeyeフレームは obj_j 以外のランドマークオブジェクトの集合であり、以後 *Atumeye* (i, obj_j) と表記する。 obj_k が *Atumeye* (i, obj_j) に含まれるかは式2および式3から決定される。式2もしくは式3のいずれかが真となった場合、 obj_k は *Atumeye* (i, obj_j) に含まれる。ただし *Atumeye* (i, obj_j) は obj_j を含まない。

$$Overlap(B_i(obj_j), B_i(obj_k)) \wedge Mob(obj_j) > Mob(obj_k) \quad (2)$$

$$OBJ \in Atumeye(i, obj_j) \wedge Overlap(B_i(OBJ), B_i(obj_k)) \wedge Mob(OBJ) > Mob(obj_k) \quad (3)$$

図6でのChair1のAtumeyeフレームは、 $\{Desk1, Desk2, Bookshelf1\}$ となる。またDesk1のAtumeye

フレームは $\{\}$ であり, Desk2のAtumeyeフレームは $\{\text{Bookshelf1}\}$ である.

ランドマークオブジェクト obj_j の移動がシステムで定義された時間間隔内に発生しなかった場合に Atumeye フレームが算出され, 算出結果が記録される. 記録時のデータ構造は, Atumeye フレームを所有するオブジェクト obj_j , i 番目のカメラID, Atumeye フレームを計算した時刻 t をまとめた $(obj_j, i, t, \text{Atumeye}(i, obj_j))$ の形である. もし $on(obj_j)$ 空間にセンサ装着オブジェクト obj_i が存在すれば, $(obj_i, i, t, \text{Atumeye}(i, obj_j))$ も同時に保存する. したがって Brownie では $\text{Atumeye}(i, obj_j)$ をキーとした検索が可能となる.

全てのランドマークオブジェクトをカメラ画面から取り除いた場合, ランドマーク指定検索の発行は困難となる. またランドマークオブジェクトの配置が大きく変化した場合もランドマーク指定検索の発行は困難である. したがってランドマークオブジェクトの配置が変化していないことを判定し, ランドマーク指定検索の有効期間を決定する機構が必要となる.

Atumeye フレームではオブジェクト配置に対する $Mobility: Mob(layout)$ が定義される. $Mob(obj_k) < Mob(layout)$ となる obj_k が閾値以上移動した場合, ランドマークオブジェクトの配置が変化したと判断する. したがってランドマーク指定検索は, $Mob(obj_k) < Mob(layout)$ となる obj_k が移動しない限り有効である. ランドマーク指定検索の有効期間は, Brownie 内でランドマーク指定検索が有効とされている最古の時刻 t_{valid} を変更することで実現される. つまり, 時刻 t において $Mob(obj_k) < Mob(layout)$ なる obj_k が移動した場合, t_{valid} の値を t に変更する.

3.2 Atumeye フレームを用いた検索

ランドマーク指定検索を発行した場合, 検索するオブジェクトの周辺情報を示す Atumeye フレームがマーク領域から生成される. Atumeye フレーム生成は 2 段階に分かれる. 1 段階目で Atumeye フレームの基点となるランドマークオブジェクトを発見し, Atumeye フレームを初期化する. 2 段階目で初期化された Atumeye フレームに対して式 3 を適用し, Atumeye フレームを完成させる.

Atumeye フレーム生成の 1 段階目では, 式 4 もしくは式 5 が真となるランドマークオブジェクトを検出する. 式 4 はランドマークの消失に対応するための式であり, 検出された obj_i は全て Atumeye フレームに追加し, 終了後 2 段階目を実行する.

一方式 5 はランドマークの入れ替えに対応するため

の式であり, 検出された obj_i は Atumeye フレームに追加されない. なぜならば検出された obj_i は, ユーザにマークされたランドマークオブジェクトであり, ランドマークの入れ替えが発生する可能性を持つためである. 式 5 が成立した場合, 2 つの検索が実行される. 1 つ目は obj_i をキーとした過去に生成された論理表現の検索である (2.1 節). 2 つ目は obj_i の Atumeye フレームを算出し, ランドマークの入れ替えに備えた検索である. ランドマークの入れ替えに備えた検索では, まず式 2 の obj_j に obj_i を代入し Atumeye フレームを初期化する. 終了後 2 段階目 that 実行される.

$$\frac{R_i(Q) \cap B_i(obj_j)}{R_i(Q)} > \text{Threshold} \quad (4)$$

$$\max\left(\frac{R_i(Q) \cap on_i(obj_j)}{R_i(Q)}, \frac{R_i(Q) \cap on_i(obj_j)}{on_i(obj_j)}\right) > \text{Threshold} \quad (5)$$

式 4 では $R_i(Q)$ と $B_i(obj_j)$ の交差面積をまず求め, 得られた交差面積を $R_i(Q)$ で正規化する. 正規化することでユーザごとに異なるマーク面積の大きさが吸収できる. 式 5 ではまず $R_i(Q)$ と $on_i(obj_j)$ の交差面積を求める. 続いて交差面積をそれぞれ $R_i(Q)$ と $on_i(obj_j)$ で正規化し大きな方を採用する. $R_i(Q)$ と $on_i(obj_j)$ それぞれで正規化する理由は, ユーザごとに on 空間をマークする方法が異なると考えられるからである. 検索オブジェクトがのっていたランドマークオブジェクトのみを記憶するユーザの $R_i(Q)$ は $on_i(obj_j)$ の内部にあると考えられ, $\frac{R_i(Q) \cap on_i(obj_j)}{R_i(Q)}$ は大きくなる. 一方検索オブジェクトの大きさを記憶しているユーザの $R_i(Q)$ は $on_i(obj_j)$ から上部にはみ出すと考えられる. したがって大きさを記憶するユーザに対しては, $\frac{R_i(Q) \cap on_i(obj_j)}{on_i(obj_j)}$ より $\frac{R_i(Q) \cap on_i(obj_j)}{R_i(Q)}$ が有効と考えられる.

式 4, 式 5 の Threshold はパラメータチューニング用評価から決定される. パラメータチューニング用評価では, ランドマークの消失時および入れ換え時においてランドマーク指定クエリを被験者に発行してもらい, 検索オブジェクトの発見率を最大化する値を Threshold として決定する.

図 7 にランドマーク消失時のランドマーク指定検索の様子を示す. 図 7 では図 6 から Chair1 を除いた状態であり, ユーザは Chair1 の上にあったオブジェクトの検索を要求したとする. 図 7 中の黒線で描かれた四角形がユーザのマークする領域の一例ある. ランドマーク消失時においてユーザは正確な場所を指定できない. しかしランドマーク周辺の情報を覚えており, Desk1 と Desk2 をまたいだ空間をマークすることが期

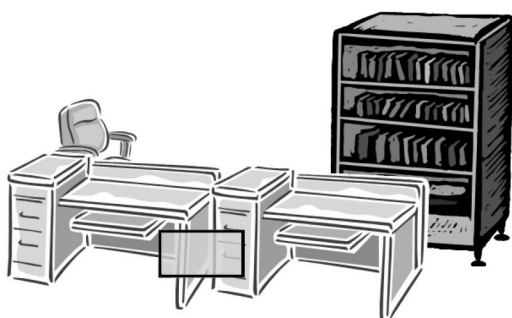


図7 ランドマーク消失時における検索



図8 ランドマーク入れ替え時における検索

待される。Desk1とDesk2をまたいだ空間から式4で生成されるAtumeyeフレームは $\{Disk1, Disk2, Bookshelf1\}$ となる。ランドマーク指定検索から生成されたAtumeyeフレームは図6の状態で生成されたChair1のAtumeyeフレームと等しい。したがってAtumeyeフレームをキーワードにした検索を行うことで、図6中のChair1の上にあるオブジェクトを検索できる。Atumeyeフレームはランドマークオブジェクトの名前のみを周辺情報として記録することで、不正確な記憶から生じるマーク領域の位置や大きさのずれに頑強な検索となる。

図8にランドマーク入れ替え時のランドマーク指定検索の様子を示す。図8では図6のChair1とChair2を入れ替えた状態であり、ユーザはChair1の上にあったオブジェクトの検索を行う目的でカメラ画像をマークする。図8中の黒線で描かれた四角形がユーザのマーク領域の一例である。ランドマーク指定検索発行時ににおいて式5を満足するランドマークオブジェクトとしてChair2が検出され、まずChair2をキーとした検索が行われる。しかしChair2をキーとした検索では要求されたオブジェクトを発見できない恐れがある。ランドマークの入れ替えに対処するため、Chair2のAtumeyeフレーム $\{Disk1, Disk2, Bookshelf1\}$ が生成され、

検索が行われる。生成されたAtumeyeフレームは図6の状態で生成されたChair1のAtumeyeフレームと等しいため、検索によりChair1上のオブジェクトが発見できる。したがってAtumeyeフレームを用いた検索でランドマークの入れ替えに対処できる。

4. 評価

評価実験では被験者にランドマーク指定検索を実行してもらい、検索オブジェクトの発見率を評価する。検索オブジェクトの発見率を比較するため3つの検索手法を評価に用いる。1つ目の手法はAtumeyeフレームを組み込んだBrownieによる検索であり、以後 S_{AE} (Search with AtumEye)と表記する。2つ目の手法はAtumeyeフレームを持たないBrownieによる検索であり、以後 S_{NA} (Search with No Atumeye)と表記する。 S_{NA} では、まずユーザによってマークされた領域に存在するランドマークオブジェクトを式5を用いて検出する。続いて検出したランドマークオブジェクトをキーとした検索を行う。3つ目の手法は、マークされたカメラ座標内に存在したオブジェクトをカメラ座標系で検索する。したがって3つ目の手法は、従来研究の1つである過去を扱う空間インデックス法[12, 13]による検索と等しい結果を返す。以後3つ目の手法を S_{AC} (Search with Absoulte Coordinate)と表記する。

評価実験は3つの状況に対して行い、それぞれの状況に対して4人の被験者を対象とした。各状況ではランドマーク候補となるオブジェクト数や種類、検索対象となるオブジェクト数や種類、そして使用したカメラおよびカメラの配置が異なる。評価実験に用いた状況1の様子を図9に、状況2の様子を図10に、そして状況3の様子を図11に示す。評価実験の被験者は本研究室に所属する大学生および大学院生計11名であり、1名のみが状況1と状況2の評価実験に参加した。また状況2と状況3に参加した被験者からBrownieを使用した感想を収集した。

位置座標を取得するため、ランドマーク候補となるオブジェクトに4つ、検索対象となるオブジェクトに1つの超音波3次元タグが装着される。評価実験で用いたランドマーク候補のオブジェクトは、机、キャスタ付きの棚、そして椅子であり、 $Mob(desk) < Mob(shelf) < Mob(chair)$ と定義した。また $Mob(desk) < Mob(layout) < Mob(shelf)$ とし、評価実験において机の場所は移動させない。

評価実験の手順を説明する。評価実験は、オブジェクトの位置を被験者が記憶する記憶フェーズと、ランドマーク指定検索によりオブジェクトの場所を検索する検索フェーズから構成される。記憶フェーズでは、



図9 評価実験:状況1で被験者が記憶するカメラ画像



図10 評価実験:状況2で被験者が記憶するカメラ画像



図11 評価実験:状況3で被験者が記憶するカメラ画像

ランドマーク候補のオブジェクトとon関係にある全センサ装着オブジェクトの場所を記憶してもらう。検索フェイズでは、ランドマークオブジェクトの配置を変更したのち、被験者が記憶したセンサ装着オブジェクトの場所をカメラ画像上にマークしてもらう。ランドマーク指定検索は、マークされた領域と被験者に提示している状態のセンサデータを用いて生成される。いずれの配置でも検索対象となるセンサ装着オブジェクトはカメラ画像中に存在しない。また記憶フェーズと検索フェーズの間に5分間のインターバルを設け、アクションゲームや書類記述といった別の作業を行って貰う。5分間のインターバルの目的はオブジェクトの位置関係に関する記憶を不明確にすることである。

評価は、ランドマーク指定検索における検索オブジェクトの発見率を用いる。ランドマーク指定検索は、記憶フェーズでユーザに記憶してもらったセンサデータに対して行う。検索の結果、ユーザに指示したオブジェクトが発見できれば成功、発見できなければ失敗とし、検索オブジェクトの発見率を計算する。過去の履歴全てを評価に用いない理由は、オブジェクトの動かし方による検索率の変動を抑えるためである。またランドマーク指定検索の評価は棚と椅子の上に存在したセンサ装着オブジェクトでのみ行い、机の上にあったオブジェクトに関する検索結果は使用しない。机の上にあったオブジェクトを評価に使用しない理由は2つ存在する。1つ目は、オブジェクト数を増やすことでユーザの記憶を不確実にするためである。2つ目は、本評価実験で机を移動させないため、机の上に存在するオブジェクトに対してランドマークの消失および入れ替えに関する評価が行えないためである。

被験者間の条件を等しくするため、評価に使用されるセンサデータおよび画像データは予め所得したデータを用いた。取得したセンサデータを用いることでセンサエラーやバッテリー残量によるセンサデータ取得率が各被験者で完全に等しくなる。取得した画像データを用いることでオブジェクトの配置が各被験者で完全に等しくなる。センサデータは被験者にランドマーク指定クエリを要求する各状態ごとに2秒間分を取得し、画像データは各状態毎に一枚の静止画を取得した。

評価実験において、式4、式5のThresholdはともに0.2を使用する。Thresholdを決定するため、評価実験前にパラメータチューニング用評価を行った。パラメータチューニング用評価では2人の被験者が計28件のランドマーク指定クエリを発行し、オブジェクト発見率を最大化するThresholdが決定された。

4.1 状況1における評価

状況1の状態を示す図9には、3つの机と3つの椅子というランドマーク候補のオブジェクトが存在する。ただし一番奥に配置してある机と椅子は当研究室の超音波受信器設置環境において位置取得が難しかったため評価に使用しない。また検索対象として、三脚、赤い箱、モデム、そして人形の4つのオブジェクトを使用する。赤い箱と人形を机の上に配置し、三脚とモデムを椅子の上に配置した状態を記憶フェーズで記憶してもらう。

検索フェーズでは異なる7種類の配置に対して、4つのオブジェクトがそれぞれ存在した場所を被験者にマークしてもらう。7種類の配置では椅子の数と場所が異なり、椅子を2つ取り除いた配置が1種類、椅子を1つ取り除いた配置が4種類、椅子の数を変更しない配置が2種類である。本評価実験では机に関する配置変えは行わず、2つの机を固定されたランドマークとして扱う。椅子を取り除いた4種類の配置でランドマークオブジェクトの消失に対する評価を行い、椅子を入れ換えた配置でランドマークの入れ換えに対する評価を行う。

状況1における評価実験の結果を表3に掲載する。机の上に乗せたオブジェクトは評価に用いないため、三脚とモデムに関する全56件(4人×7状況×2オブジェクト)を評価した。ランドマーク変化なしは、椅子の数を図9と同数に設定し、ランドマークの入れ替えを起こさなかった計8件の評価結果である。ランドマーク消失時は、椅子の数を1つもしくは2つ減らした計40件の評価結果である。ランドマーク入れ替え時は、椅子の数を図9と同数に設定し、2つの椅子の入れ替えを起こした計8件の評価結果である。

いずれの条件においても S_{AE} は最も良い結果を示した。 S_{AE} と S_{AC} を比較した場合に最大で15%、最小でも12.5% S_{AE} は S_{AC} よりも優れていた。また S_{NA} は、ランドマーク消失時と入れ替え時において低い発見率しか持たなかったが、Atumeyeフレームを導入することで平均50%以上発見率が向上した。

表3 状況1の評価結果

	S_{AE}	S_{NA}	S_{AC}
ランドマーク変化なし	100%	100%	87.5%
ランドマーク消失時	85.0%	30.0%	70.0%
ランドマーク入れ替え時	100%	0%	87.5%
合計	89.2%	35.7%	75.0%

4.2 状況2における評価

状況2での状態を示す図10には、3つの机と2つの椅子がランドマーク候補のオブジェクトとして存在する。検索対象として、けん玉、プラスチックの坪、ロボット、赤い箱、そして黒い懐中電灯の5つのオブジェクトを使用する。けん玉とプラスチックの坪を奥の机に、ロボットと赤い箱を椅子に、そして黒い懐中電灯を白い机の上に配置した状態を記憶フェーズで記憶してもらう。

状況2も7種類の配置に対して、5つのオブジェクトがそれぞれ存在した場所を被験者にマークしてもらう。7種類の配置のうち、ランドマーク変化なしが2種類、ランドマーク消失が3種類、そしてランドマークの入れ換えが2種類である。オブジェクト検索成功率は、2つの椅子の上にそれぞれ存在した2種類のオブジェクトより評価した。ただしいずれの場合でも椅子は図10の場所から移動させた。

状況2における評価実験の結果を表4に示す。表4からいずれの条件においても S_{AE} が最も良い結果を示した。 S_{AE} と S_{AC} 比較した場合、最小で12.5%、平均でも14.2% S_{AE} は S_{AC} より優れていた。またAtumeyeフレームを導入することで S_{NA} のオブジェクト発見率が平均50%向上する結果が得られた。

表4 状況2の評価結果

	S_{AE}	S_{NA}	S_{AC}
ランドマーク変化なし	81.3 %	50.0%	62.5%
ランドマーク消失時	58.3 %	8.3%	45.8%
ランドマーク入れ替え時	75.0%	6.3%	62.5%
合計	69.6 %	19.6%	55.4 %

4.3 状況3における評価

状況3の状態を示した図11には、3つの机、1つの黒い棚、そして2つの椅子がランドマーク候補のオブジェクトとして存在する。検索対象として、プラスチックの坪、坪の蓋、ロボット、赤い箱、黄色い箱、そして目覚し時計の6つのオブジェクトを使用する。プラスチックの坪と坪の蓋は左側の机にそれぞれ配置する。ロボットと赤い箱は中央の椅子にそれぞれ配置する。黄色い箱は右側奥の机に、目覚し時計は右側手前の棚に配置する。記憶フェーズでは、図11の状態を記憶してもらう。

状況3も7種類の配置に対して、6つのオブジェクトがそれぞれ存在した場所を被験者にマークしてもらう。7種類の配置のうち、ランドマーク変化なしが2種類、ランドマーク消失が3種類、そしてランドマークの入れ換えが2種類である。いずれの場合でも椅子

表5 状況3の評価結果

	S_{AE}	S_{NA}	S_{AC}
ランドマーク変化なし	83.3 %	62.5%	54.2%
ランドマーク消失時	63.9 %	27.8%	52.8%
ランドマーク入れ替え時	70.8%	8.3%	50.0%
合計	71.4 %	32.1%	52.4 %

と本棚は図10の場所から移動させた。ただし本棚のMobilityは椅子より低いいため、本棚の移動範囲をカメラ画面右半分に限定した。また3種類のランドマーク消失のうち、本棚のみを消失させた場合が1種類、本棚と椅子を消失させた場合が1種類、そして椅子のみを消失させた場合が1種類である。オブジェクト検索成功率は、2つの椅子と1つの棚の上に置かれていた3種のオブジェクトを用いて評価した。

状況3における評価実験の結果を表5に示す。表5からいずれの条件においても S_{AE} が最も良い結果を示した。 S_{AC} と比較して S_{AE} は最小で11.1%、平均でも19.0%高いオブジェクト発見率を示した。またAtumeyeフレームを導入することで S_{NA} のオブジェクト発見率が平均39.3%向上する結果が得られた。

4.4 アンケート評価

状況2および状況3に参加してもらった8名の被験者にBrownieの感想を求めたところ、5名から回答を得られた。5名のうち3名はBrownieの機能に対して好意的であった。好意的である理由は、ランドマークの配置がかわった場合の検索に戸惑ったため、ずれを吸収して探し物を発見する機能はありがたいとのことであった。

残り2名からはインターフェイスに関する要望を受けた。1名は、現在のシステムではランドマークの場所をマークすべきか、もともとあった空間をマークすべきかわからないとの指摘であった。もう1名は、固定されたカメラだけでなく、3D空間上を動く自由視点からランドマーク指定検索を行いたいとの要望であった。

上記の結果から、Brownieは記憶とのずれを吸収するAtumeyeフレームに対しては評価を得られたといえる。しかしインターフェイスを改善する必要がある。

4.5 評価のまとめ

状況1、状況2、そして状況3の評価をまとめたものを表6に掲載する。表6から、 S_{AC} と比較して S_{AE} は平均で15.8%、最小でも13%高いオブジェクト発見率を示した。また S_{NA} と S_{AE} を比較した場合、ランドマーク入れ替え時において最大71%の発見率向

表6 総合評価結果

	S_{AE}	S_{NA}	S_{AC}
ランドマーク変化なし	85.4%	64.6%	62.5%
ランドマーク消失時	71.0%	24.0%	58.0%
ランドマーク入れ替え時	77.1%	6.3%	60.4%
合計	76.7 %	29.1%	60.9%

上が見られる。

表6から S_{AE} にはランドマーク消失時、及びランドマーク入れ換えのいずれにおいてもオブジェクト発見率の向上が見られる。したがってAtumeyeフレームがユーザの不完全な記憶から生じた位置のずれを吸収したと評価できる。またランドマーク変化なしでもオブジェクト発見率の向上が見られることから、オブジェクトの配置変化に伴うマーク位置のずれもAtumeyeフレームは吸収していると評価できる。以上よりAtumeyeフレームは、ランドマークオブジェクトの消失と入れ替えに有効であると評価できる。

5. 考察

本節では今後Brownieを拡張する上で必要となる課題について考察を行う。1点目は、論理関係の拡張に関する考察である。2点目は、Mobility決定に関する考察である。3点目は、アンケート評価に対する考察である。

5.1 論理関係の拡張に関する課題

本稿では、ランドマークの消失や入れ換えの影響を受けやすい関係としてon関係に注目した。またon関係が成立する状況を設定し、ランドマークの消失や入れ換えに対する評価を行った。

しかし日常生活の記憶に基づいてランドマーク指定検索を行う場合on関係だけでは不十分である。日常生活ではunder関係、front関係、near関係、inside関係、そしてオブジェクトがかかっていることを示すhanging関係といった論理関係が存在する。したがって上記の関係をBrownieに追加するとともに、ランドマーク指定クエリで重要な役割を持つ論理関係を選別することが今後必要となる。

5.2 Mobility決定に関する課題

現時点におけるMobilityの決定方法には、Brownieを設置するユーザの主観が入る。しかしMobilityの決定に設置するユーザの主観が入った場合、実世界と異なったMobilityでAtumeyeフレームが生成され、システムが上手く動作しない恐れがある。

本稿では、ランドマークの消失と入れ換えに対処す

る構造の提案が主眼であった。したがって恣意的に決定したMobilityと、ランドマークオブジェクトの移動頻度を合わせる事が可能であり、システム評価においてMobility決定は問題とならない。

しかし実際の運用段階において、Mobilityの決定にユーザの主観が入り込むことは問題である。一方で各ランドマークオブジェクトにはセンサが装着されており、センサデータを収集することでMobilityの客観的な決定が期待できる。したがって収集されたセンサデータからMobilityを決定する方法を今後研究していく必要がある。

5.3 アンケート評価に対する考察

アンケート評価からBrownieのインターフェイスを改善すべきとの結果が得られた。本小節では、アンケート評価を踏まえ今後設計すべきインターフェイスについて議論する。

1点目としてインターフェイスのGUI化が挙げられる。アンケートから得られた「どこをマークすべきか戸惑ってしまった」という感想は、コンソールベースの弊害と考えられる。感想にある、「もともとあった空間をマーク」するか、「ランドマークオブジェクトの場所をマーク」するかは、それぞれランドマークの消失とランドマークの移動に対応しており、Brownieではいずれの検索も可能である。しかしユーザがBrownieの機能を把握していなかったため、戸惑う結果になったと考えられる。上記の問題を避けるためには、GUIベースのインターフェイスを構築する必要がある。例えば、「空間を指定した検索」および「ランドマークオブジェクトを指定した検索」というチェックボックスを作ること、アンケートにあるユーザの戸惑いを解決できる。

2点目は、自由視点によるランドマーク指定検索について考察する。ユーザが記憶した視点からランドマーク指定検索を行うことは、物探しにおいて非常に有効であろう。Brownieにおいて、各ランドマークオブジェクトは超音波3次元タグを取り付けているため、ランドマークオブジェクトに限れば自由視点によるCGを作成することは可能である。しかし、Atumeyeフレームは各カメラごとに計算を行っているため、新しい視点を設けるたびに、過去のセンサデータをよびだしAtumeyeフレームを再計算する必要がある。現実的でない。しかし自由視点による検索は有効な方法と期待できるため、今後の課題として考えていきたい。

6. 結論

本論文の目的は、探知物が過去置かれていた場所をカメラ画像内で指定することで、探知物の検索を行うランドマーク指定検索の実現であった。ランドマーク指定検索には、ランドマークの消失による課題とランドマークの入れ替えによる課題を解決しなければならない。両課題を解決するため、本論文ではAtumeyeフレームを提案した。Atumeyeフレームは、人間がランドマークを記憶するときに周辺に存在する別のランドマークとの相対関係も記憶するというアイディアに基づいた。ランドマークの入れ替え時において、マークされた領域から検索目標の周辺状況を推定することでAtumeyeフレームはランドマークの消失を解決した。ランドマークオブジェクトを確定できる検索において、検索目標の周辺状況を推定した検索も同時に発行することでAtumeyeフレームはランドマークの入れ替えを解決した。評価実験の結果Atumeyeフレームによる検索成功率は、平均76.7%であり、過去を扱う空間インデックスを用いた手法より10~15%向上した。

参 考 文 献

- [1] Kok-Kiong Yap, Vikram Srinivasan, and Mehul Motani. MAX: Human-Centric Search of the Physical World. In *Proc. of SenSys-2005*, pages 166-179, 2005.
- [2] Makoto Shinnishi, Soichiro Iga, Fumito Higuchi and Michiaki Yasumura. Hide and Seek: Physical Real Artifacts which Responds to the User. In *Proc. of SCI'99/ISAS'99*, volume 4, pages 84-88, 1999.
- [3] Y. Nishida, H. Aizawa, T. Hori, N. Hoffman, T. Kanade, and M. Kakikura. 3d ultrasonic tagging system for observing human activity. In *Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2003)*, pages 785-791, 2003.
- [4] M. Boukara and S. Ando. Tag-based vision: Assisting 3d scene analysis with radio-frequency tags. In *Proceedings of IEEE ICIP 2002*, pages 269-272, 2002.
- [5] K. Takemura, K. Ohara, K. Ohba, N. Y. Chong, S. Hirai, and K. Tanie. Knowledge distributed tag-based vision system. In *Proceedings of INSS2004*, pages 179-182, 2004.
- [6] Jin-Young Kim, Chang-Jun Im, Sang-Won Lee, and Ho-Gil Lee. Object recognition using smart tag and stereo vision system on pan-tilt mechanism. In *ICCAS2005*, 2005.
- [7] K. Kitamura, Y. Nishida, M. Kimura, and H. Mizoguchi. Real world sensorization and virtualization for observing human activities. In *Proceedings of the 6th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2004)*, volume 5, pages 15-20, Apr. 2004.

- [8] A. Guttman. R-trees : a Dynamic Index Structure for Spatial Searching. In *Proc. of ACM SIGMOD*, pages 47-57, 1984.
- [9] N. Beckmann, H. Kriegel, R. Schneider, and B. Seeger. The R*-tree : An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles. In *Proc. of ACM SIGMOD*, 1990.
- [10] S. Saltenis, C. Jensen, S. Leutenegger, and M. Lopez. Indexing the Positions of Continuously Moving Objects. In *Proc. of ACM SIGMOD*, 2000.
- [11] Y. Tao, D. Papadias, and J. Sun. The TPR*-Tree : An Optimized Spatio-Temporal Access Method for Predictive Queries. In *Proc. VLDB*, 2003.
- [12] D. Pfoser, C. Jensen, and Y. Theodoridis. Novel approaches to the indexing of moving object trajectories. In *Proc. VLDB*, 2000.
- [13] H. Zhu, J. Su, and O. H. Ibarra. Trajectory Queries and Octagons in Moving Object Databases. In *CIKM*, pages 413-421, 2002.

(2007年2月15日 受付)

(2007年5月19日 採録)

[問い合わせ先]

〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1

慶応義塾大学理工学部情報工学科 安西・今井研究室

佐竹 聡

TEL : 045-560-1070

FAX : 045-560-1064

E-mail : satake@ayu.ics.keio.ac.jp

著者紹介


 さたけ 聡 [非会員]
 佐竹 聡

平成15年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。平成17年同大学大学院開放環境科学専攻前期博士過程終了。現在、同大学院開放環境科学専攻後期博士過程在学中。情報処理学会学生会員。


 かわしま ひでゆき [非会員]
 川島 英之

平成17年慶應義塾大学大学院開放環境科学専攻後期博士課程修了。博士(工学)。同年、慶應義塾大学理工学部情報工学科助手。平成19年より筑波大学大学院システム情報工学研究科講師。情報処理学会、電子情報通信学会、ACM、IEEE各会員。


 いまい りんたろう [非会員]
 今井 倫太

平成4年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。平成6年同大学大学院計算機科学専攻修士課程修了。同年、NTTヒューマンインタフェース研究所入社。平成9年ATR知能映像通信研究所へ出向。平成14年慶應大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻後期博士課程修了。博士(工学)。現在、慶應大学理工学部情報工学科准教授およびATR知能ロボティクス研究所研客員研究員。人型ロボットとのインタラクションの研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、日本人工知能学会、日本認知科学会、ヒューマンインタフェース学会、ACM、IEEE各会員。


 あんざい ゆういちろう [非会員]
 安西 祐一郎

昭和49年慶應義塾大学大学院博士課程修了。昭和63年より慶應義塾大学理工学部教授。平成5年より理工学部長。平成13年より慶應義塾長。この間昭和56~57年カーネギーメロン大学客員助教授。計算機科学、認知情報処理過程の研究に従事。工学博士。情報処理学会、日本認知科学会、ACM、IEEE等会員。

Brownie : Real World Search System Based on the Past Landmark Information from Camera Image

by

Satoru SATAKE, Michita IMAI, Hideyuki KAWASHIMA and Yuichiro ANZAI

Abstract :

The goal of this research is to develop a real world search system for everyday objects using position sensors on those objects. The aim of this paper is to realize a search method which can use past landmark near by the searching object as an indicator for the search. By using a camera, a user suggests a place where the searching object were in his/her memory, using a landmark. There are two problems for realizing such a landmark indication search. The first problem is the losing landmark problem. It is the problem which the user can not find the landmark at the location he/she remembers. The second one is the confusing landmarks problem which the user might select the wrong landmark when landmarks have similar features. To solve these two problems, we introduce Atumeye frames. Atumeye frames are based on the idea of landmark memories of the user that when the user memorizes a landmark, he/she also memorizes relative physical relationship between the landmark and other landmarks around. Brownie stores the location of an object, and the physical relationship around the landmark of the object as one Atumeye frame. The physical relationship is decided by existences of overlap regions of landmark objects in the video camera, and the overlap region is calculated from the 3D position data. To solve the losing landmark problem, Brownie estimates Atumeye frames when the problem occurs. To solve the confusing landmarks problem, when the user runs the search with the landmark, Brownie runs another search using other landmarks which have similar relative physical relationship. The result of evaluation indicates the average detection rate of real world search is 76.7% with Atumeye frames.

Keywords : Real World Search System, Landmark Indication Search, Ubiquitous System, Brownie

Contact Address : **Satoru SATAKE**

School of Science for Open and Environmental Systems Graduate School of Science and Technology, Keio University

3-14-1 Hiyoshi Kohoku Yokohama 223-8522, JAPAN

TEL : 045-560-1070

FAX : 045-560-1064

E-mail : satake@ayu.ics.keio.ac.jp